

PCT/EP

10/521874  
03/07993

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND  
JAN 2005

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 28 AUG 2003

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

102 33 538.9

**Anmeldetag:**

23. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Iplas GmbH, Troisdorf/DE

**Bezeichnung:**

Plasmareaktor zur Durchführung von Gasreaktionen  
und Verfahren zur plasmagestützten Umsetzung von  
Gasen

**IPC:**

B 01 J, H 05 H

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 6. August 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Klostermeyer

**BEST AVAILABLE COPY**

**Zusammenfassung:**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Durchführung von Gasreaktionen umfassend einen gasdurchströmten Plasmareaktor mit im wesentlichen zylindrischen Plasmaraum, wobei eine Stirnfläche des Reaktors als Gaseintritt und eine Stirnfläche als Gasaustritt ausgebildet ist und wobei strömungsformende Elemente für die Gase vor, in oder nach dem Plasmareaktor angeordnet sind. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Durchführung von Gasreaktionen unter Durchleitung eines Stroms von Gasen oder vergasbaren Stoffen durch die Zone eines von Mikrowellen angeregten Plasmas eines Plasmareaktors unter Umsetzung der Bestandteile.

Figur 1

**iplas GmbH**  
**Langbaurghstraße 10**  
**53842 Troisdorf**

## **Plasmareaktor zur Durchführung von Gasreaktionen und Verfahren zur plasmagestützten Umsetzung von Gasen**

Die Erfindung betrifft einen von Gasen durchströmten Plasmareaktor und damit durchgeführte Gasreaktionen.

Eine Vorrichtung aus einem im wesentlichen zylindrischen Plasmareaktor, dem Mikrowellen über Koppelstellen zugeleitet wird, kann von Gasen mit hoher Geschwindigkeit ohne Störung des Plasmas durchströmt werden. Durch hohe Anregung der Gase durch das Plasma können Gasreaktionen, insbesondere Stoffsynthesen und Reaktionen der Gasreinigung durchgeführt werden.

Bekannte Vorrichtungen zur Erzeugung eines Mikrowellenplasmas bestehen aus einer Plasmakammer, einem Mikrowellen zuführenden Resonator mit Mikrowellenerzeuger zur Bildung des Plasmas und Koppelstellen, z. B. regelmäßig angeordneten Schlitzen, Antennen o. dgl. in der Metallwand zwischen Resonator und Plasmakammer zur Einkoppelung des Plasmas in die Kammer. Nach DE 19 600 223 umfaßt der Resonator als Ring von rechteckigem Querschnitt die Metallwand mit Koppelstellen der zylindrisch-rohrförmigen Plasmakammer. Bekannte und erfindungsgemäß benutzbare Resonatoren können auch eine zylindrische Wand der Plasmakammer mit Koppelstellen ganz oder als Segmente eines Mantels mit gleicher Längsachse umfassen oder innerhalb der zylindrischen Plasmakammer z. B. in

deren Achse angeordnet sein. Durch die Geometrie des Resonators und der im wesentlichen rohrförmig-zylindrischen Plasmakammer sowie durch die regelmäßige Anordnung der Koppelstellen zwischen beiden entstehen im Inneren der Plasmakammer bestimmte Wellenbilder mit optimaler Wirksamkeit des Plasmas, d. h. sogenannte Moden. Der Mikrowellenerzeuger kann auch durch chemische, elektromagnetische bzw. Hochfrequenzanregung ergänzt oder ersetzt sein.

Gase im Plasmaraum werden durch das Plasma angeregt, wobei u. a. Leuchterscheinungen entstehen können. Ein Gasstrom stört aber schon bei geringer Strömungsgeschwindigkeit das Plasma, treibt es aus der Kammer und läßt das Plasma abreißen und damit erlöschen.

Bekannte Gasreaktionen und Gassynthesen können im Lichtbogen mit Entladungselektroden erfolgen, wobei die Temperaturen für viele Zwecke zu hoch sind, eine Behinderung des Gasstroms durch die Elektroden erfolgt und der hohe Energieverbrauch nachteilig ist.

Aufgabe der Erfindung ist es ein gut verteiltes und stabiles Plasma und somit eine optimale Aktivierung des Gases zu erhalten.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein gasdurchströmter Plasmareaktor für Gasreaktionen mit strömungsformenden Elementen zur Führung des Gasstroms sowie ein Verfahren zur Durchführung von Gasreaktionen mit hohen Volumenströmen mit dieser Vorrichtung vorgeschlagen. Als Reaktionsgase kommen insbesondere schwer aktivierbare und damit wenig reaktive Gase z.B. Kohlendioxid, Stickstoff und Methan in Frage.

Die Vorrichtung weist erfindungsgemäß eine bevorzugt zylindrisch-rohrförmige gasdurchströmte Plasmakammer als Plasmareaktor mit Koppelstellen zur Zuführung der Mikrowellenleistung ggf. über einen Mikrowellen zuführenden Resonator sowie strömungsformende Elemente für den Gasstrom auf. Der zuführende Resonator kann z.B. als Hohlleiterring oder Koaxialresonator als Mantel oder Teilmantel die Plasmakammer umfassen, wobei die Plasmakammer selbst als Resonator Moden

ausbilden kann. An den Stirnflächen des Plasmareaktors sind Anschlüsse zur Gaszufuhr und auf der Gegenseite Anschlüsse zum Gasaustritt vorgesehen, wobei die strömungsformenden Elemente bzw. Vorrichtungen die Gase verteilen und insbesondere einen rotierenden Strom bewirken. Die zylindrisch geformte Plasmakammer und die Anordnung der Koppelstellen sowie andererseits die Verteilung des Gasstroms bewirken ein gut verteiltes und stabiles Plasma und somit eine optimale Aktivierung des Gases. Eine bevorzugter Weise zur Achse symmetrische Anordnung der strömungsformenden Elemente führt zu der bevorzugten Rotation des Gasstroms. Die Verteilung und Rotation der Gase im ganzen Plasmaraum des Reaktors und Reaktionsrohrs durch die strömungsformenden Elemente ermöglichen hohen Stoffdurchsatz und eine hohe Umsetzung der zur Reaktion zu bringenden Stoffe. Die Zuführung der Mikrowellenleistung über die Koppelstellen erfolgt bevorzugt über zuführende Ring- oder Koaxialresonatoren, welche die Plasmakammer als Mantel bzw. Teilmantel umfassen können.

Als strömungsformende Elemente eignen sich u. a. Prallbleche, Düsen, Blenden, Gitter, Kegel, Prallkörper, Wirbelrohre, Zyklone, Turbinen oder Lochblenden. Bevorzugt einstellbare Ringblenden oder Ringdüsen in symmetrischer Anordnung zum zugeführten Gasstrom und der Achse und tangential zuführende, ringförmig angeordnete Düsen ermöglichen die Rotation im Reaktor und Reaktionsrohr bzw. Nachreaktionsrohr. Solche strömungsformenden Elemente sind am Gaseintritt und am Gasaustritt des Reaktors und am Beginn des Reaktionsrohrs besonders wirksam.

Die strömungsformenden Elemente ermöglichen eine geordnete z. B. rotierende Gasführung und unerwartet hohe Gasgeschwindigkeit, d.h. hohe Durchsatzmengen, ohne daß das Plasma aus dem Reaktor getrieben wird. Die Anregung der Gase durch das Plasma erfolgt im Reaktor, während die weitere Reaktion der Gase häufig erst im Reaktionsrohr erfolgt. Ein Teil des Gases oder eine von mehreren Reaktionskomponenten oder Inertgase können erst am Austritt des Reaktors dem Gasstrom zugeführt werden. Ebenso sind Hilfsstoffe am Gaseintritt oder im Reaktionsrohr zuführbar. Die Vorrichtung mit den strömungsformenden Elementen macht

es möglich, die Gase im Bereich des Atmosphärendrucks bei 0,1 bis 10 bar, besonders bei 0,3 bis 1,5 bar Druck zu handhaben. In Reaktoren mit z.B. nur 100 mm Durchmesser werden Gasströme von z.B. 300 m<sup>3</sup>/h erreicht. Reaktoren bis 1000 mm Durchmesser ergeben wesentlich größere Durchsatzmengen.

Soweit ein Reaktionsrohr anschließt, hat dies die gleiche Achsrichtung, kann aber einen anderen Durchmesser haben.

Durch das Plasma werden die Gase so stark aktiviert, daß die Kühlung der Gase von Vorteil oder notwendig sein kann. Dazu dienen Kühlelemente wie Kammern oder Kühlmäntel in der Wandung des Reaktionsrohrs und ggf. am Gaseintritt und Gasaustritt des Reaktors. Wirksame Kühlung erfolgt besonders durch Gase als gekühlter Gasstrom oder als Zufuhr von kalten Gasen wie z.B. Argon oder bei Synthesen von Teilen der Reaktionspartner am Beginn oder in das Reaktionsrohr. Durch gezielte Abkühlung ist eine selektive Produktbildung möglich. Kalte Gase werden besonders mit Ringdüsen, Schlitzspalten oder tangential wirkenden Injektionsrohren zugeführt, wobei diese zugleich als strömungsformende Elemente wirken. Durch diese Kühlelemente und die Zugabe von ggf. kalten Gasen sind für die jeweils durchgeführte Reaktion bzw. Umsetzung die Temperaturbereiche mit höchsten Umsatzgraden und Ausbeuten einstellbar.

Im Reaktor kann ein für die Mikrowellen durchlässiger Rezipient aus z.B. Quarzglas, Keramik o. dgl. parallel zur Zylinderwand angeordnet sein. Die Wand des Rezipienten kann sich in das Reaktionsrohr fortsetzen oder das Reaktionsrohr bilden.

In das Reaktionsrohr können, besonders in Achsrichtung von hinten Messgeräte, Rohre zur Probenentnahme und eine verschiebbare Zufuhr weiterer Gase oder Kühlmittel hineinragen (siehe Fig.1). Im Reaktionsrohr können Katalysatoren aller Art zur Beschleunigung der jeweiligen Reaktionen eingesetzt werden. Insbesondere auf Böden, bevorzugt in einem verschiebbaren Korb angeordnet sein oder als Granulate, Netze, o.ä. .

Das Verfahren zur Durchführung von Gasreaktionen durch plasmagestützte Umsetzung kann insbesondere mit der beschriebenen Vorrichtung erfolgen. Die strömungsformenden Elemente bewirken eine Verteilung, insbesondere eine Rotation des Gasstroms, wodurch die Strömungsgeschwindigkeit und die Durchsatzmenge sowie die Vollständigkeit der Umsetzung ganz wesentlich gesteigert werden kann. Durch Kühlung der Vorrichtung und durch die Zufuhr gekühlter Ausgangsstoffe, kalter Gase oder Hilfsstoffe steigt die Durchsatzmenge und in Abhängigkeit von der durchgeführten Reaktion der Umsatzgrad.

Im Plasmareaktor erfolgt die Aktivierung bzw. Anregung der Reaktionskomponenten. Eine Aktivierung der oberhalb der Plasmaquelle zugeführten Gase erfolgt im Eintritt in das Reaktionsrohr, soweit dorthin das Plasma mit dem Gasstrom ausgebracht wird, was immer dann möglich ist, wenn im Reaktor das Plasma stabil aufrecht erhalten bleibt. Die eigentliche Umsetzung erfolgt überwiegend im Reaktionsrohr. Häufig ist es zweckmäßig, durch den Plasmareaktor nur einen Teil der Gase, oder nur eine von mehreren Reaktionskomponenten zu leiten und weitere Komponenten, Hilfsgase oder sogar flüssige Stoffe wie z.B. Wasser am Beginn des Reaktionsrohres einzuleiten. Besonders durch Zufuhr kalter Gase aller Art erst im Reaktionsrohr sowie durch Kühlung des Reaktionsrohrs wird die Temperatur der Reaktion gesteuert, die durchgesetzte Menge und der Umsatzgrad gesteigert.

Katalysatoren mit Eignung für die jeweils durchgeführte Reaktion können in bekannter Art und Form z.B. auf Trägern aufgebracht, im Reaktionsrohr auf Böden angeordnet oder vorteilhaft in einem verschiebbaren Katalysatorkorb benutzt werden. Empfindliche Katalysatoren können im hinteren Teil des Reaktionsrohrs z.B. direkt von kalten Gasen oder Hilfsgasen angeströmt werden. Fein verteilte Stäube, folglich auch fein verteilte Katalysatoren, Suspensionen oder katalytisch wirkende Gase können direkt durch den Plasmareaktor geführt werden.

Der Druck kann mit stationären oder gepulsten Plasmen in der Vorrichtung bei z. B. 0,1 bis 10 bar besonders im Bereich des Normaldrucks liegen. Gasgeschwindigkeiten von z. B. 0,1 bis 10 m/s bei z.B. 100 mm Rohrdurchmesser, d. h. bei sehr gerin-

gem Durchmesser und kleiner Apparatur, sind möglich. Gasvolumenströme bis 300 m<sup>3</sup>/h werden erreicht. Bei Rohrdurchmessern von 300 bis 1000 mm sind entsprechend hohe Durchsatzmengen möglich.

Die Temperaturen der jeweiligen Gasreaktionen liegen durch die starke Plasmaanregung niedriger als bei entsprechenden Reaktionen bei Durchführung z. B. im Lichtbogen bzw. durch thermische Anregung. Das Material der Vorrichtung, u. a. Edelstahl oder Quarzglas, wird daher wenig belastet, erleidet nicht Materialschäden oder Korrosion und hat eine lange Lebensdauer. Auch die Katalysatoren haben lange Standzeiten.

Die Reinigung von Abgasen bzw. Restgasen industrieller Prozesse und Stoffsynthesen in der Gasphase sind durchführbar, besonders aus schwer aktivierbaren Gasen wie CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> oder H<sub>2</sub>O. Häufig können hohe Ausbeuten und Umsatzgrade von bis zu 100% erreicht werden.

Beispiele für Stoffsynthesen aus Gasen sind die Herstellung von Ammoniak aus Stickstoff und Wasserstoff im mol-Verhältnis 1:3 sowie Pyrolysereaktionen, z. B. die Zersetzung von Methan oder anderen Kohlenwasserstoffen zu Wasserstoff und feinteiligem, hochaktiven Ruß, der zahlreiche Verwendungen u. a. als Toner für Kopiergeräte hat. Eine wichtige Reaktion ist die Herstellung von Synthesegas, d. h. von CO und H<sub>2</sub> aus Methan oder niederen Kohlenwasserstoffen. Dabei sind Abweichungen von 20% von den theoretischen mol-Mengen möglich. Die Umsetzung von trockenem Wasserdampf mit Methan verläuft im mol-Verhältnis 1:1 und liefert theoretisch 3 mol H<sub>2</sub> je mol CO und wird daher überwiegend zur Herstellung von Wasserstoff genutzt. Die Umsetzung von CO<sub>2</sub> mit Kohlenwasserstoffen, berechnet als Methan, liefert gleiche mol-Mengen CO und H<sub>2</sub> und dient zur Herstellung nachfolgender Produkte aus Synthesegas. Ein Überschuß von Methan bzw. die Zufügung oder Rückführung von Wasserstoff vermindert Nebenreaktionen und lässt Umsätze bis sogar 98% bei sehr hoher Selektivität erreichen. Wasserstoff oder zurückgeführtes Synthesegas kann z.B. über die Ringdüse 11 nach Fig. 1 zugegeben werden.



Der Einsatz von Katalysatoren ist im Reaktionsrohr möglich. Dies gilt insbesondere für heterogene Katalysatoren auf geeigneten Trägern, wie z.B. Aluminiumoxid oder Siliziumcarbid. Als Katalysatoren sind zudem auch beschichtete Monolithen sowie Zeolithe mit und ohne Dotierung geeignet.

Als aktive Komponenten des Katalysators kommen z.B. sämtliche metallischen Oxide z.B. Eisen-, Kupfer-, Zink- oder Nickeloxid sowie gemischte Oxide mehrerer Metalle in Frage. Neben den Oxiden sind auch Reinmetalle verwendbar. Dies sind z.B. Palladium, Platin, Rhodium sowie Kupfer, Eisen, Kobalt, Titan, Nickel sowie Zink.

Die Katalysatoreinbringung im Reaktionsrohr erfolgt dabei vorzugsweise auf verschiebbaren Böden.

Mögliche Reaktionen mit Katalysatoren sind die Bildung längerkettiger Kohlenwasserstoffe mit und ohne Sauerstoffeinbau ähnlich der Fischer-Tropsch-Synthese, aromatische Moleküle, die Ammoniaksynthese sowie die Ausbeutesteigerung nebst Rußvermeidung bei der Synthesegasproduktion.

Die Abgasreinigung bewirkt die vollständige Oxidation vielfältiger Abgase von unerwünschten, schädlichen oder giftigen Bestandteilen wie Kohlenmonoxid, Dioxin, Furanen, FCKW, FKW, CKW und weiteren Kohlenstoffverbindungen. Die Vorrichtung erlaubt durch die Gaszuleitungen die Zufuhr von z.B. Luft oder Sauerstoff bzw. von reduzierenden Gasen wie Ammoniak, Wasserstoff bzw. deren Mischungen mit einem Abgas. Durch Wahl geeigneter Temperaturen, durch Wahl geeigneter Zusatzstoffe sowie wirksamer Katalysatoren können somit auch schwer bzw. häufig unvollständig umsetzbare Abgase gereinigt werden.

Beispiele für umsetzbare Abgase sind Reste aus der Gewinnung und Verarbeitung von Erdöl und Erdgas, aus chemischen Umsetzungen, soweit Reste der Ausgangsstoffe bzw. Produkte eine Wiedergewinnung nicht lohnen bzw. eine Reinigung durch

Oxidation bzw. Reduktion ohne weitere Umsetzung vor Abführung nach Außen erforderlich ist.

In der Zeichnung der Figuren 1 bis 4 ist im Schnitt die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung von Gasreaktionen durch Plasmabehandlung dargestellt. In der Zeichnung sind zum Teil der bekannte zuführende Resonator sowie die Koppelemente in der Wand des Plasmareaktors fortgelassen.

Fig. 1 zeigt diese Vorrichtung, worin von unten durch die Stirnfläche der Plasmakammer mittels des als strömungsformendes Element ausgebildeten Gaseintritts 1 ein rotierender Gasstrom der Ausgangsstoffe eingeführt, im Plasmareaktor bzw. Plasmaraum 2 verteilt und durch das Reaktionsrohr 5 mit gleicher Achse wie der Reaktor weitergeführt, zur vollständigen Reaktion gebracht und schließlich am Gasaustritt 12 abgeführt wird. Ringförmig ausgebildete Kühlkammern 10 und gekühlte Ringe 3 sind am Gaseintritt in den Reaktor und am Gasauslass aus dem Reaktor bzw. Eintritt in das Reaktionsrohr angeordnet. Zuleitungen für weitere Gase bzw. Hilfsstoffe sind als ringförmige Düsen 11 am Auslass des Reaktors und als verschiebbares achsiales Rohr 6 mit Gaseinführung entgegen dem Gasstrom angeordnet. Durch den Kühlkopf 8 ist ein Meßgerät 13 und eine verschiebbare Probenentnahme 9 geführt. Soweit das Reaktionsrohr 5 aus Glas, Quarz o. dgl. besteht, kann es durch ein Schutzrohr 4 aus Metall umfaßt werden. Der verschiebbar angeordnete Katalysatorkorb 7 enthält einen gekörnten oder auf einen Träger aufgetragenen Katalysator, welcher die jeweils durchgeführte Gasreaktion beschleunigt.

Fig. 2 zeigt im Schnitt eine Vorrichtung zur Gasbehandlung mit Plasmaraum 2, den Plasma zuführenden ringförmigen Plasmaresonator 14 und den Rezipient 15 aus Quarz. Die vom Gaseintritt 1 kommenden Gase werden von dem strömungsformenden Element 16 in Art einer Wirbelkammer durch in Reihen angeordnete Bohrungen 17 tangential zur Achse in durch Pfeile angedeuteter Rotation mit hoher Geschwindigkeit durch den Plasmaraum 2 zur Lochblende 17 in das Reaktionsrohr 5 zur Nachreaktion geführt. Durch den Rohrstutzen 18 wird weiteres Gas oder eine Reaktionskomponente in einen das Reaktionsrohr 5 umfassenden Mantelraum und

durch den Ringspalt 19 in das Reaktionsrohr 5 in Richtung des Gasaustritts 12 geführt.

Fig. 3 zeigt im Schnitt eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung mit chematisch angedeutetem Plasmaraum 2 und als Reaktionsrohr weiterführenden Rezipienten 15 aus Quarzglas. Als strömungsformendes Element im Gaseintritt 1 verteilt Kegel 20 den durch Pfeile angedeuteten Gasstrom und führt durch die Plasmakammer zum nicht gezeigten Gasaustritt.

Fig. 4 zeigt im Schnitt eine Vorrichtung wie Fig. 3 mit einem verschiebbaren Ringspalt 21 am Gaseintritt 1 und eine zum Reaktionsrohr führende Lochblende 22. Das Reaktionsrohr und der Plasmaraum besitzen eine durchgehende Wandung 15 Suspensionen und Feinteilige Granulate können mit den Gasen durch den Plasmareaktor 2 und das Reaktionsrohr geführt und am Austritt abgeschieden werden.

Beispiele:

Synthesegasproduktion ohne Wasserstoffzugabe				
$\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2$			$\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{CH}_4 = 68/18/13 \%$	
$P = 4500 \text{ W}$		$V = 40 \text{ l/min}$		Kein Katalysator
Umsatz			Ausbeute	
$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{H}_2$	$\text{CO}$	$\text{H}_2$
0.91	0.99	-	0.83	0.93

Synthesegasproduktion mit Wasserstoffzugabe				
$\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2 \text{CO} + 2 \text{H}_2$			$\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{CH}_4/\text{H}_2 = 70/15/11/4 \%$	
$P = 5000 \text{ W}$		$V = 40 \text{ l/min}$		Kein Katalysator
Umsatz			Ausbeute	
$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{H}_2$	$\text{CO}$	$\text{H}_2$
0.95	0.99	0.10	0.96	0.95

Acetylenproduktion				
$\text{CO}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$			$\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{C}_2\text{H}_4 = 73/21/6 \%$	
$P = 3500 \text{ W}$		$V = 38.5 \text{ l/min}$		Kein Katalysator
Umsatz			Ausbeute	
$\text{CO}_2$	$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{H}_2$	$\text{CO}$	$\text{C}_2\text{H}_2$
0.21	0.55	-	0.17	0.07

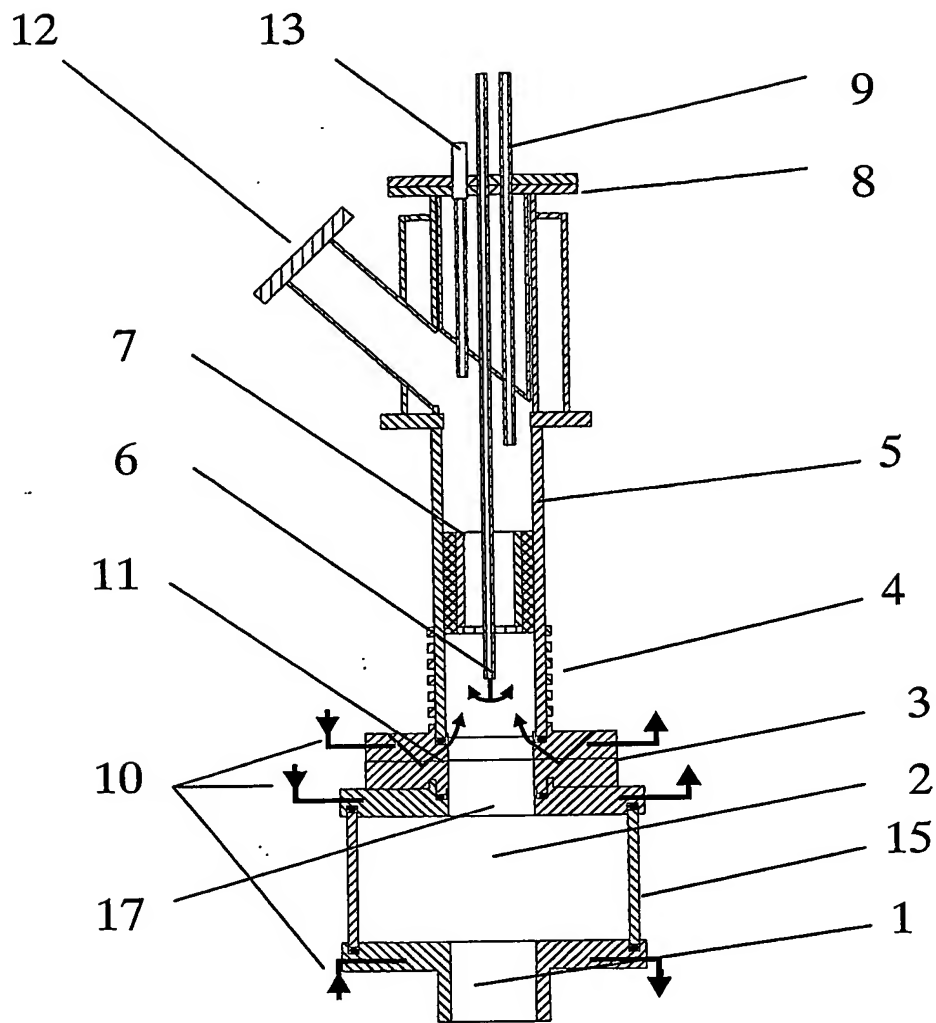
Benzolproduktion an Kupferkatalysatoren				
$2 \text{CO}_2 + 2 \text{C}_2\text{H}_4 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + 4 \text{H}_2\text{O}$			$\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{C}_2\text{H}_4/\text{H}_2 = 66/19/9/6 \%$	
$P = 4500 \text{ W}$		$V = 42.5 \text{ l/min}$		Kupferkatalysator
Umsatz			Ausbeute	
$\text{CO}_2$	$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{H}_2$	$\text{CO}$	$\text{C}_6\text{H}_6$
0.37	0.23	0.65	0.25	0.02

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Durchführung von Gasreaktionen umfassend einen gasdurchströmten Plasmareaktor mit im wesentlichen zylindrischen Plasmaraum, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine Stirnfläche des Reaktors als Gaseintritt und eine Stirnfläche als Gasaustritt ausgebildet ist und daß strömungsformende Elemente für die Gase vor, in oder nach dem Plasmareaktor angeordnet sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der zuleitende Resonator ganz oder teilweise den Plasmareaktor umfaßt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Resonator als Ring oder Mantel ausgebildet ist und den zylindrischen Teil der Reaktorwand umfaßt.
4. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der zuführende Resonator und Plasmareaktor, bevorzugt in dessen Achse, angeordnet ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die im Gasstrom angeordneten strömungsformenden Elemente als Kegel, Tropfen, Ringspalte, Blenden, Gitter, Prallkörper, Wirbelrohre, Zyklone, Turbinen o. dgl. ausgebildet sind.
6. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** die strömungsformenden Elemente einstellbar angeordnet sind.
7. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Reaktionsrohr axial hinter dem Reaktor angeordnet ist.
8. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** Kühlkammern am Eingang oder Ausgang des Reaktors und/oder in und/oder an der Wand des Reaktionsrohrs angeordnet sind, oder Düsen, Spalte, Rohre o. dgl. zur Einleitung von Kühlmedien, insbesondere kalter Gase, Wasser oder Teilen der Ausgangsstoffe vorgesehen sind.

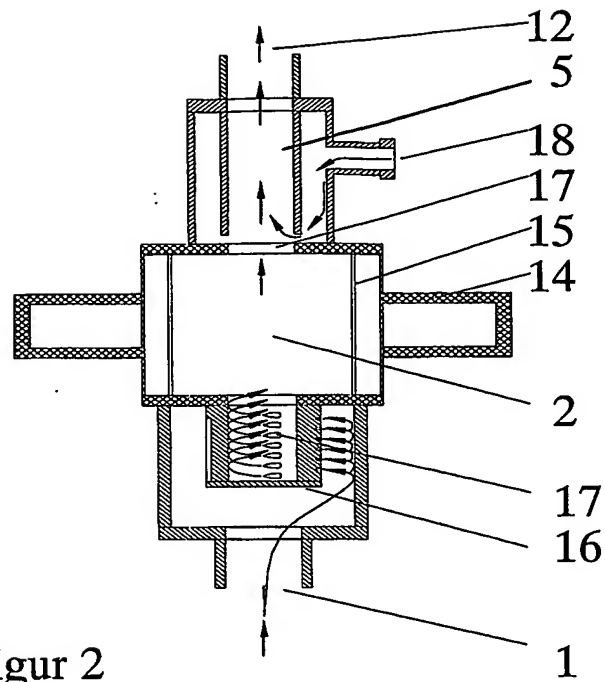
9. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** Gaseinleitungen tangential in Richtung der Rotation der Gase angeordnet sind.
10. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** im Reaktionsrohr Katalysatoren ggf. verschiebbar angeordnet sind, insbesondere heterogene Katalysatoren auf Böden, in einem Korb oder als Monolith
11. Verfahren zur Durchführung von Gasreaktionen unter Durchleitung eines Stroms von Gasen oder vergasbaren Stoffen durch die Zone eines von Mikrowellen angeregten Plasmas eines Plasmareaktors unter Umsetzung der Bestandteile.
12. Verfahren nach Anspruch 11 unter Verwendung der Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, daß** mindestens Teile eines Stroms von Gas oder vergasbaren Stoffen durch den Plasmareaktor geführt ist.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Gasreaktion Abgase zum Zweck der Reinigung zur Reaktion gebracht oder die Synthese von Stoffen aus Gasen oder vergasbaren Flüssigkeiten ausgeführt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11-14 zur Produktion von Synthesegas aus flüssigen oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen und Kohlendioxid bei Neutralgastemperaturen unter 1000°C mit und ohne Einsatz von Katalysatoren.
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Wasserstoff zur Temperatursteuerung in der Reaktions bzw. Rekombinationszone und zur effizienteren Aktivierung hinter dem Plasma mittels der Zuführungen (3) eingedüst wird.
17. Verfahren nach Anspruch 15, **gekennzeichnet durch** den Einsatz von Wasserdampf und Kohlenwasserstoffen zur Produktion von Synthesegas.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 11-13 zur Produktion von Ammoniak oder Hydrazin aus Gemischen von Wasserstoff und Stickstoff mit und ohne Einsatz von Katalysatoren.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 11-13, **gekennzeichnet dadurch, daß** hochwertige langkettige und/oder aromatische Kohlenwassertstoffe durch den Einsatz gasförmiger Olefine durch Zuführung 3 mit und ohne Reaktion mit Kohlendioxid mit und ohne Katalysatoren entstehen.
20. Verfahren nach Anspruch 11-13, **gekennzeichnet dadurch, daß** gas- oder dampfförmige Schadstoffe mittels eines geeigneten Reduktions oder Oxidationsmittels in einem Abgasstrom vernichtet werden.
21. Verfahren nach Anspruch 1 bis 20 unter Rückgewinnung der Wärme mittels eines im Reaktionsrohr integrierten gas-flüssig Wärmetauschers unter Verwendung einer schwarzen Austauschfläche zur Nutzung der Strahlungsenergie.

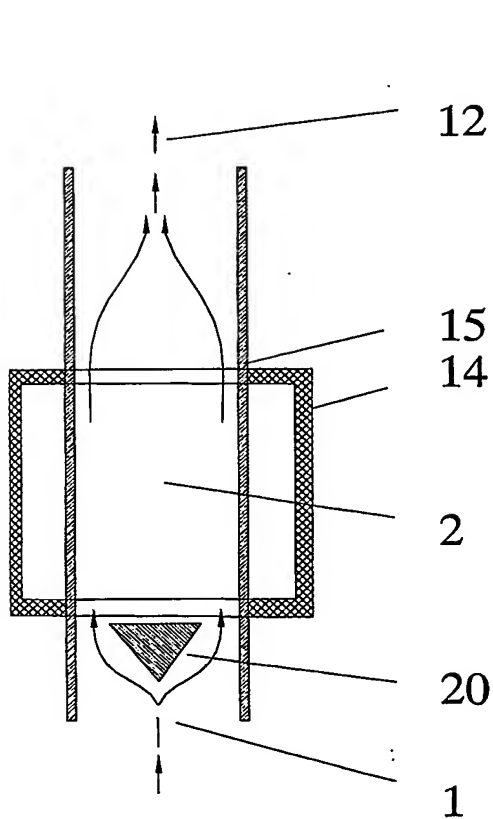


Figur 1

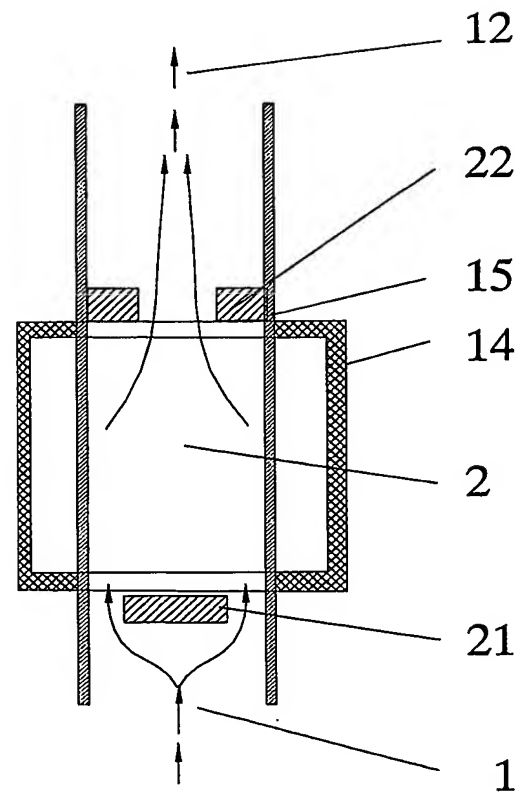




Figur 2



Figur 3



Figur 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☒ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**